

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 1 月 27 日 (27.01.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/008580 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G06N 3/00, H01L 29/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/010093
- (22) 国際出願日: 2004 年 7 月 15 日 (15.07.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-275037 2003 年 7 月 16 日 (16.07.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社進化システム総合研究所 (EVOLVABLE SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE INC.) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町二丁目 1 番 1 3 号 Tokyo (JP). 株式会社半導体先端テクノロジーズ (SEMICONDUCTOR LEADING EDGE TECHNOLOGIES, INC.) [JP/JP]; 〒3058569 茨城県つくば市小野川 1 6 番地 1 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 村川 正宏 (MURAKAWA, Masahiro) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区

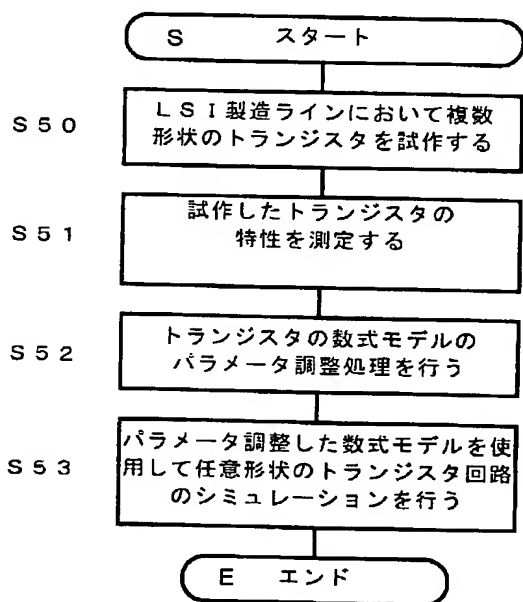
浜松町二丁目 1 番 1 3 号芝エクセレントビル 8 階株式会社進化システム総合研究所内 Tokyo (JP). 伊藤 桂一 (ITO, Keiichi) [JP/JP]; 〒1050013 東京都港区浜松町二丁目 1 番 1 3 号芝エクセレントビル 8 階株式会社進化システム総合研究所内 Tokyo (JP). 和田 哲典 (WADA, Tetsunori) [JP/JP]; 〒3058569 茨城県つくば市小野川 1 6 番地 1 株式会社半導体先端テクノロジーズ内 Ibaraki (JP).

- (74) 代理人: 久保田 直樹, 外 (KUBOTA, Naoki et al.); 〒1950062 東京都町田市大蔵町 3 1 0 1-1 0 久保田特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: PARAMETER ADJUSTER

(54) 発明の名称: パラメータ調整装置



S...START
S50...FABRICATE TRANSISTORS IN A PLURALITY OF SHAPES BY TRIAL ON LSI FABRICATION LINE
S51...MEASURE CHARACTERISTICS OF TRANSISTOR FABRICATED BY TRIAL
S52...ADJUST PARAMETERS OF MATHEMATIC MODEL OF TRANSISTOR
S53...SIMULATE TRANSISTOR CIRCUIT IN ARBITRARY SHAPE USING MATHEMATICAL MODEL HAVING ADJUSTED PARAMETERS
E...END

(57) Abstract: A chromosome using each of a plurality of parameters of a physical model of a semiconductor element as a gene is defined and the parameters are optimized using a gene algorithm based on the characteristics measurement data of a semiconductor element fabricated by way of trial. In the selection processing of the gene algorithm, a sum of a first evaluation value based on linear scale data and a second evaluation value based on logarithmic scale data is employed as the evaluation value of the chromosome.

[続葉有]



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

本発明は、半導体素子の物理モデルの複数のパラメータのそれぞれを遺伝子とする染色体を定義し、試作された半導体素子の特性測定データに基づき、遺伝子アルゴリズムを使用してパラメータを最適化を行う。

遺伝的アルゴリズムにおける淘汰処理において、線形スケールのデータに基づく第1評価値およびログスケールのデータに基づく第2評価値の合計を当該染色体の評価値とする。

明 細 書

パラメータ調整装置

技術分野

- [0001] 本発明は、パラメータ調整装置に関するものであり、特に、トランジスタなどの半導体素子の物理モデルの多数のパラメータを短時間で調整可能なパラメータ調整装置に関するものである。

背景技術

- [0002] LSIの製造を行う場合、まず、当該製造ラインでトランジスタ(MOSFET)のゲートのチャンネル長 L およびチャンネル幅 W 等の形状の異なる幾つかのトランジスタ(MOSFET)のサンプルを試作する。次に、この試作品の電気的特性の測定結果から、当該製造ラインにおいて製造されるトランジスタの特性に高精度で合致するように、トランジスタの物理モデルの複数のパラメータを調整する。そして、このトランジスタの物理モデルを使用して、SPICEなどの周知の回路シミュレータによって当該製造ラインにおいて製造する各種LSI(トランジスタ)のシミュレーションが行われていた。

- [0003] トランジスタの物理モデルは、 V_g (ゲート電圧)、 V_d (ドレイン電圧)、 I_d (ドレイン電流)の関係等をゲートのチャンネル長 L 、チャンネル幅 W 等の変数および複数のパラメータを含む数式によって表現したものであり、多数のモデルが提案されている。そして、上記シミュレーションには例えば代表的な周知のBSIM(Berkeley Short Channel IGFET Model)が使用されていた。

BSIMは多数の数式からなり、調整すべきパラメータの数は50個以上ある。なお、トランジスタの物理モデルの詳細および従来のパラメータ調整方法については例えば下記文献に記載されているので、詳細な説明は省略する。

非特許文献1：鳥谷部達監修「MOSFETのモデリングとBSIM3ユーザズガイド」平成14年2月28日丸善発行。

- [0004] また、従来、実験結果などから遺伝的アルゴリズムを用いて複数のパラメータを含む物理モデルのパラメータフィッティング(調整)処理を自動的に行うパラメータ調整装置が提案されている。例えば、本発明の発明者らが先に出願した下記の文献には

、遺伝的アルゴリズムを用いて複数のパラメータを含む物理モデルのパラメータ調整処理を自動的に行う一般的なパラメータ調整装置が提案されている。

特許文献1:特開2003-108972号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上記した従来のパラメータ調整方法においては、多数のパラメータを同時に最適化することは出来ないで、一部のパラメータのみをまず最適化し、このパラメータを固定して他の一部のパラメータを最適化するという作業を繰り返すことによってパラメータ全体の調整を行っていた。ところが、この方法では最適化するパラメータの処理順序によっては最適なパラメータに収束しない、あるいは収束させるために多大の時間と労力を要するという問題点があった。

そこで、本発明者は上記した一般的なパラメータ調整処理をトランジスタの物理モデルのパラメータ調整に適用することを検討したが、従来の遺伝的アルゴリズムをそのままトランジスタの物理モデルのパラメータ調整に適用しても効率および精度のよいパラメータの調整ができないという問題点があった。本発明は上記した問題点を解決することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明のパラメータ調整装置は特殊な交叉処理によって新たなパラメータ遺伝子を生成する手段を備えたことを主要な特徴とする。また、実数であるパラメータに適用するために正規化手段を備えた点にも特徴がある。更に、トランジスタ(MOSFET)特有の特性に高精度で合致するようにパラメータの評価を行う評価手段にも特徴がある。

発明の効果

- [0007] 本発明のパラメータ調整装置は上記のような特徴によって、トランジスタの物理モデルのパラメータ調整に遺伝的アルゴリズムを適用することが可能となり、短時間で最適なパラメータ群を決定できるという効果がある。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本発明のパラメータ調整装置を使用してシミュレーションを行う場合の全体の手順を示すフローチャートである。
- [図2]パラメータ調整処理を示す概略フローチャートである。
- [図3]S43の交叉処理の内容を示すフローチャートである。
- [図4]本発明の交叉法の例を示す説明図である。
- [図5]評価計算処理の内容を示すフローチャートである。
- [図6]トランジスタの I_dV_g 特性を示すグラフである。
- [図7]S15の評価値計算の一例を示すフローチャートである。
- [図8]S17の離散データ正規化処理を示すフローチャートである。
- [図9]試作するトランジスタの形状の選択方法を示す説明図である。

符号の説明

- [0009] G 重心
P1〜P3 親個体

発明を実施するための最良の形態

- [0010] 本発明のパラメータ調整装置は、後述するフローチャートによって示された処理を実行するプログラムを作成し、このプログラムを実行可能な周知の任意のコンピュータシステムにインストールすることによって実現する。なお、コンピュータシステムのハードウェアについては周知であるので詳細な説明は省略する。以下実施例1について説明する。

実施例 1

- [0011] 図1は、本発明のパラメータ調整装置を使用してシミュレーションを行う場合の全体の手順を示すフローチャートである。前記したように、LSIの製造を行う場合、まずS50においては、当該LSI製造ラインでゲートのチャンネル長 L およびチャンネル幅 W 等の形状の異なる幾つかのトランジスタ(MOSFET)のサンプルを試作する。
- [0012] 図9は、試作するトランジスタの形状の選択方法を示す説明図である。形状の選択方法は、例えば L および W の最大値および最小値の間を等間隔で、あるいは最小値に近い方をより細かく区分し、 L - W 平面上で十字形状になるように試作するトランジスタの区分(形状)を選択する。

[0013] S51においては、試作したトランジスタの電気的特性を測定する。具体的には I_dV_d 特性(V_b 固定)、 I_dV_d 特性(V_g 固定)、 I_dV_g 特性(V_d 固定)についてそれぞれ複数のサンプル値(離散データ)を得る測定を固定値を変えて複数回行う。

[0014] S52においては、当該製造ラインにおいて製造されるトランジスタの特性に高精度で合致するように、本発明のパラメータ調整装置を使用して後述する方法によってトランジスタの物理モデルのパラメータ調整処理を行う。

[0015] S53においては、パラメータが調整された物理モデルを使用して、SPICEなどの周知の回路シミュレーションプログラムを使用して当該製造ラインにおいて製造する任意のチャンネル長およびチャンネル幅のトランジスタ回路の動作シミュレーションを行う。

本発明のパラメータ調整装置を使用することにより、物理モデルの精度の高いパラメータが短時間で得られ、精度の高いシミュレーションを行うことができる。

[0016] 図2は、遺伝的アルゴリズムを使用したパラメータ調整(フィッティング)処理を示す概略フローチャートである。S41においては、一つ以上の離散データ群(測定結果)を用意する。S42においては、トランジスタの物理モデル関数の任意のパラメータを遺伝子とする染色体をN個生成し、個体集団とする。個体の生成とは染色体中の遺伝子の値を決定し、その染色体の評価値を計算することである。なお、Nは2以上の数でなければならない。

BSIMには前記したように50個以上のパラメータがあるが、シミュレーションしたい内容によっては、調整を行わずに代表値に固定しておけばよいか、あるいは無視してよいパラメータもある。従って、調整すべきパラメータの数 n はシミュレーションする目的によって異なり、50個以上の場合もあるが、例えば10個の場合もある。そこで、調整すべきパラメータの数 n に依存して遺伝的アルゴリズムにおける染色体数 N や子の生成数(Child)などのパラメータを変化させるようにした。このことによって、 n が小さければ処理も速くなる。実施例においては、例えば染色体数 $N=n \times 15$ とする。

また、BSIMにおいては、各パラメータについて推奨するパラメータ初期値の範囲が定められているので、各パラメータについて、推奨するパラメータ初期値の範囲内においてランダムに初期値を決定して遺伝子の値とする。

[0017] S43においてはS42で生成された個体集団より、親個体となる染色体を選ぶ。この

処理で選択する親個体の数 p は N 個以下である必要がある。そして、選択された親個体から後述する交叉処理により子個体を生成する。S44においてはS43で生成された子個体の評価値を計算する(詳細は後述する)。

[0018] S45においてはS43で選択した親個体と、S44で生成した子個体の中から評価の良い順に p 個を個体集団に戻し、残りを破棄する。この処理によって評価値の低い染色体が淘汰される。なお、この他に、親個体の一部を淘汰の対象にせずそのまま母集団に戻し、残りの親個体と子個体から評価の良い順に「残りの親個体」数分戻す方法を用いてもよい。

[0019] S46においてはアルゴリズム切り替え条件が満足されたか否かを判定し、条件を満たしていなければS43に戻るが、条件を満たしている場合はS47に移行する。条件としては、計算回数が所定値を超えたか否か、あるいは評価値の減少率が所定値を下まわったか否かなどが上げられる。S47においては局所的探索法として、例えば公知のPowell法あるいはその他の公知の局所的探索法によりパラメータの調整を行う。このように探索方法を切り替えることにより、パラメータ調整時間が短縮する。

[0020] 次に本発明における交叉処理について説明する。従来の交叉法としては染色体の遺伝子を部分的に入れ替える処理が用いられていた。この交叉法は遺伝子がビット値(0または1)である時には有効な手法であるが、遺伝子が実数値である場合には必ずしも有効な交叉法ではない。なぜならば、2進数表現により定義される遺伝子型の空間は、実数値に変換後における実際のパラメータの空間とは位相構造が異なっているため、パラメータの連続性が考慮されないからである。

[0021] 例えば、2進数の中の1ビットが反転した場合、変換後のパラメータは反転したビットの位置によって、最上位ビットが反転した場合には大きく変化するが、最下位ビットが反転した場合にはパラメータ値はほとんど変化しない。本発明で調整対象となるパラメータは実数値であるため、従来の交叉方法では有効的な調整を行うのは難しい。そこで従来の交叉法ではなく、以下に述べる実数値向けの交叉法を用いる。

[0022] 図3は、S43の交叉処理の内容を示すフローチャートである。この交叉法は複数の親個体の遺伝子から計算された多面体の中から子個体の遺伝子を生成する実数値向け交叉法である。また、図4は、本発明の交叉法の例を示す説明図である。

S31においては、個体集団からp個の親個体をランダムに選ぶ。pの値は調整するパラメータがn個の場合、 $p=n+1$ とするのが望ましい。S32においては、S31で選択したp個の親個体の重心Gを求める。即ち、各パラメータ毎に平均値を求める。

[0023] S33においては変数cの値を1にセットし、S34においては重心G及び一様分布乱数を用いた下記の式1より子個体を一つ生成する。

[数1]

$$C = x_p + C_p$$

$$x_k = G + \varepsilon(P_k - G)$$

$$C_k = \begin{cases} 0(k=0) \\ r_{k-1}(x_{k-1} - x_k + C_{k-1})(k=1\dots p) \end{cases}$$

$$r_k = (u(0,1))^{\frac{1}{k+1}}$$

ここで、pは選択された親個体の数、Cは生成される子個体の染色体を示すベクトル、 P_k は選択された親個体の染色体を示すベクトルである。なお、本実施例では選択された親個体の数は $n+1$ 個であるとする。また、 $u(0, 1)$ は区間 $[0, 1]$ の一様分布乱数である。

[0024] S35においては変数cに1を加算し、S36においては変数cが定数childより大きいかが判定され、判定結果が否定の場合にはS34に戻るが、肯定の場合には交叉処理を終了する。この処理によってchild個の子個体が生成される。childは $10 \times n$ 程度が望ましい。

[0025] 図4は、調整するパラメータを α 、 β の2個、個体集団よりランダムに選ばれた親個体の数を3個とした時のシンプレックス交叉の探索範囲(子個体の生成範囲)を示す説明図である。重心Gから各親個体 $P_1 \sim P_3$ までのベクトルを ε 倍して子個体の生成範囲(図4の外側の三角形の内部)を決定し、その範囲から一様乱数を用いて子個

体を生成する。 ε の推奨値は親個体の数が p 個の時、 $\sqrt{p+1}$ である。なお、パラメータ数が 3 以上の場合には子個体の生成範囲は複数の超平面によって囲まれた超多面体の内部空間となる。

[0026] 上記の様な交叉方法を用いることで、調整対象となるパラメータが実数値である問題に対してパラメータを陽に扱うことができ、有効な調整を行う事ができる。陽に扱うことができるとは、パラメータ空間近傍にある個体が遺伝子空間でも近傍にあることを意味する。また、このような交叉手法は変数間の依存性に頑健で、スケールのとり方に依存しないという特徴があり、パラメータ間に依存性が強く、スケーリングが異なるパラメータが多数存在するトランジスタの電気特性モデル関数のパラメータ調整に適している。

[0027] 通常、遺伝的アルゴリズムにおいては交叉の他に突然変異という処理を行う。突然変異は従来の離散的な二進数値を扱う遺伝的アルゴリズムの場合、染色体の遺伝子の一部を反転させる操作を行う。また、実数値を扱う遺伝的アルゴリズムの場合でも、染色体の各遺伝子に正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従って発生させた正規乱数を加算する操作が提案されている。しかし、上記したような本発明の交叉方法は交叉過程において乱数を用いているため、突然変異の性質も兼ね備えている。そのため、上記のような交叉手法を用いる場合は突然変異を行わない。

[0028] 次に、S44において実行される評価値について説明する。用意した離散データ群と染色体中の遺伝子をモデルパラメータとするトランジスタ電気特性モデル関数で計算した推定データ群よりその染色体の評価値を計算する。評価値とは、染色体中の遺伝子がモデルパラメータとしてどれだけ理想的な値に近いかを示す値である。

[0029] 図5は、評価計算処理の内容を示すフローチャートである。S12においては染色体の遺伝子情報を読み込み、トランジスタ電気特性モデル関数のモデルパラメータとする。S13-1...S13-dにおいては離散データ群を読み込む。dは読み込んだ離散データ群の数である。

[0030] S14-1...S14-dにおいてはS12で入力したモデルパラメータを元に離散データ群を予測する推定データ群を計算する。推定データ群は離散データ群と同じ数だけ存在する。S15においては離散データ群と推定データ群より、染色体の評価値を計算

する。評価関数としては、後述する二乗誤差などが用いられる。

- [0031] 図6は、トランジスタの $I_d V_g$ 特性を示す線形スケール(a)およびログ(対数)スケール(b)のグラフである。図6の楕円で囲んだ部分の様に、離散データ群の中には(a)の線形スケールで見るとほぼ0に見えるが、(b)のログスケールを見た場合、大きく値が変化している部分がある。このような性質をサブスレシヨルド特性という。
- [0032] この部分は、他の部分と比較すると絶対値が小さいので、誤差の絶対値も小さく、この部分を通常の線形スケールのデータ群のみを用いて最適化することは困難である。また、この部分を調整するためにログスケールのデータ群のみ用意して最適化を行うと、サブスレシヨルド特性は最適化することができるが、逆にそれ以外の部分の誤差が大きくなり、ずれが生じてしまう。
- [0033] そこで、本発明においては、MOSTランジスタ電気特性モデルパラメータはサブスレシヨルド特性を推定するパラメータとそれ以外の部分を推定するパラメータが独立していることに注目し、以下に示すスケーリング処理によって、ログスケールのデータ群と線形スケールのデータ群を同時に読み込んで、全ての特性を同時に調整する。
- [0034] なお、離散データ群間でスケーリングが異なる場合、二乗誤差を取るとスケールの小さいデータ群は評価値に与える影響が小さくなってしまう。そのため前述したスケーリング処理を行っても調整精度が落ちる恐れがある。そこで、本発明では各データ群中の離散データを正規化し、スケールを統一することによって調整精度を向上させる。
- [0035] 図7は、S15に上記のスケーリング及び離散データ正規化手法を実装した、評価値計算の一例を示すフローチャートである。S16においては、離散データ群及び、それに対応している推定データ群をログスケールに変換した対数データを生成する。S17においては用意されたすべてのデータ群を正規化する。
- [0036] 図8は、S17で行う離散データの正規化処理の一例を示すフローチャートである。S21においてはデータ群を読み込む。S22においては以下に示すデータの変換を行う。即ち、まずデータ群中の最大値 f_{max} 及び最小値 f_{min} を求める。次に、下記の式2によってデータ群中の全ての離散データ $f(i)$ を正規化データ $g(i)$ に変換する。

[数2]

$$g(i) = \frac{f(i) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

ここで、 $g(i)$: 正規化データ、 $f(i)$: 離散データ、 f_{\max} : データ群中の最大値、 f_{\min} : データ群中の最小値である。この演算によって離散データを $[0, 1]$ の範囲内に正規化することができる。

[0037] 図7に戻って、S18においては線形スケールのデータ群のみの評価値を計算しAとする。Aは正規化離散データと正規化推定データの二乗誤差の合計である。S19においてはログスケールのデータ群のみの評価値を計算しBとする。Bは正規化対数離散データと正規化対数推定データの二乗誤差の合計である。S20においてはA+Bを染色体の評価値とする。なお、評価値の計算に二乗誤差を用いているが、二乗誤差の代わりに誤差率を求めるようにしてもよい。

[0038] 以上のような処理によって、短時間で高精度のパラメータ調整ができる。そして、物理モデルに当該パラメータを採用することにより、試作をせずに高精度の回路シミュレーションを行うことができるので、半導体素子の製造効率が向上する。

[0039] 以上実施例1を説明したが、本発明のパラメータ調整装置には以下のような変形例も考えられる。トランジスタの物理モデル例としてはBSIMを挙げたが、本発明はBSIMの他、公知の任意のトランジスタ物理モデルを使用可能である。更に、本発明はトランジスタ以外の公知の任意の半導体素子にも適用可能である。

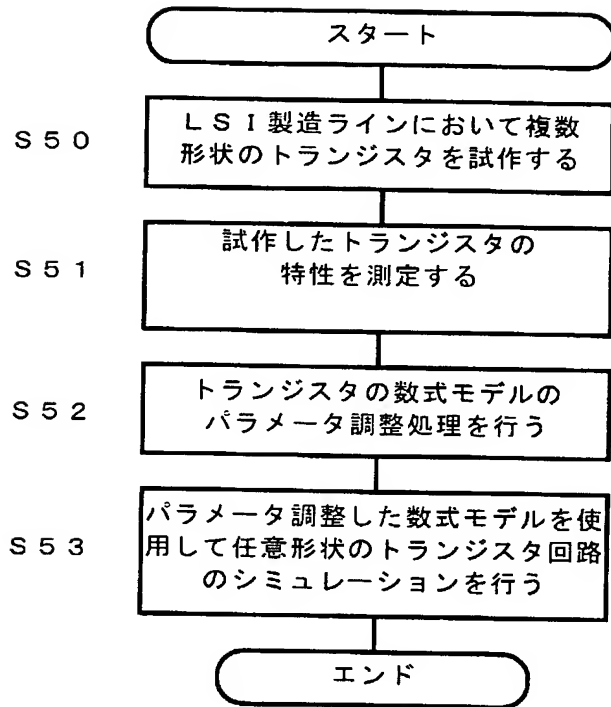
産業上の利用可能性

[0040] 本発明は、トランジスタの物理モデルを使用した、LSI製造ラインにおいて製造する各種LSIのシミュレーションに利用できる。

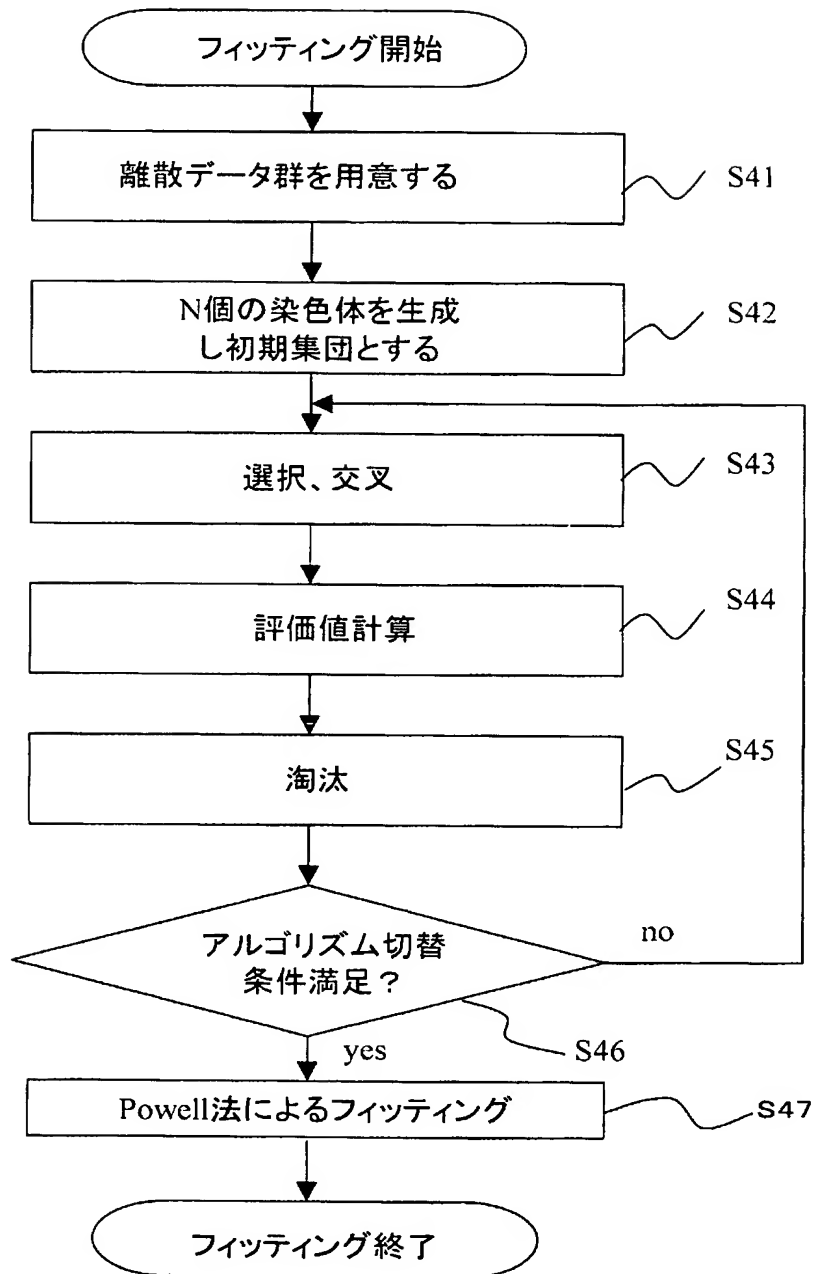
請求の範囲

- [1] 半導体素子の物理モデルの複数のパラメータのそれぞれを遺伝子とする染色体を定義し、試作された半導体素子の特性測定データに基づき、遺伝的アルゴリズムを使用してパラメータを最適化するパラメータ調整手段を備えたことを特徴とするパラメータ調整装置。
- [2] 前記パラメータ調整手段は、遺伝的アルゴリズムにおける交叉処理において、親染色体群のベクトル空間における重心を求め、前記重心および親染色体群の値から定められるベクトル空間上の超多面体の内部に子染色体群の生成範囲を決定する生成範囲決定手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。
- [3] 前記パラメータ調整手段は、遺伝的アルゴリズムにおける淘汰処理において、線形スケールのデータに基づく第1評価値およびログスケールのデータに基づく第2評価値の双方を求め、第1評価値および第2評価値の合計を当該染色体の評価値とする評価値算出手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。
- [4] 前記パラメータ調整手段は、遺伝的アルゴリズムにおける淘汰処理において、データのスケールを統一する正規化手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。
- [5] 前記パラメータ調整手段は、遺伝的アルゴリズムにおけるパラメータ調整処理が所定の条件を満足した場合には、局所的探索手段に切り替える探索方法切り替え手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載のパラメータ調整装置。

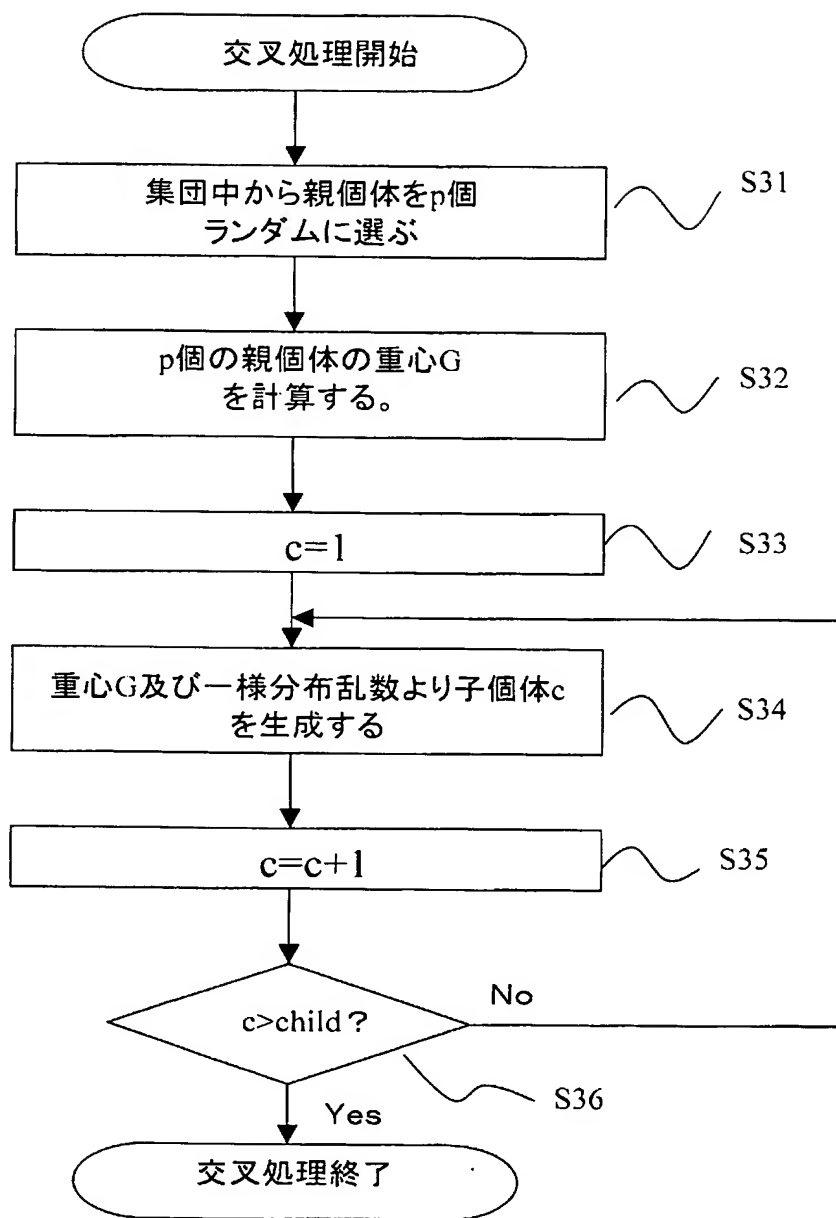
[図1]



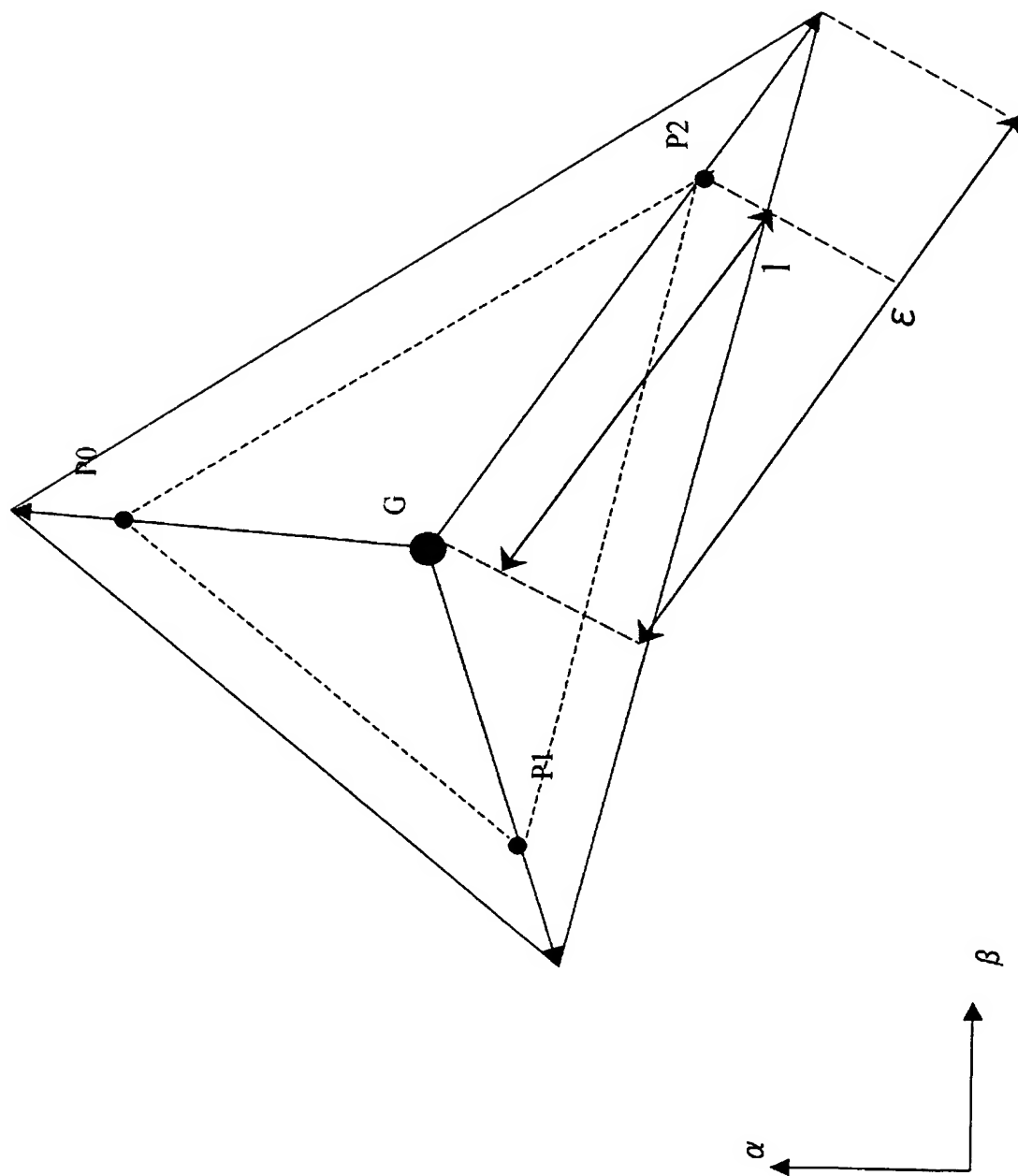
[図2]



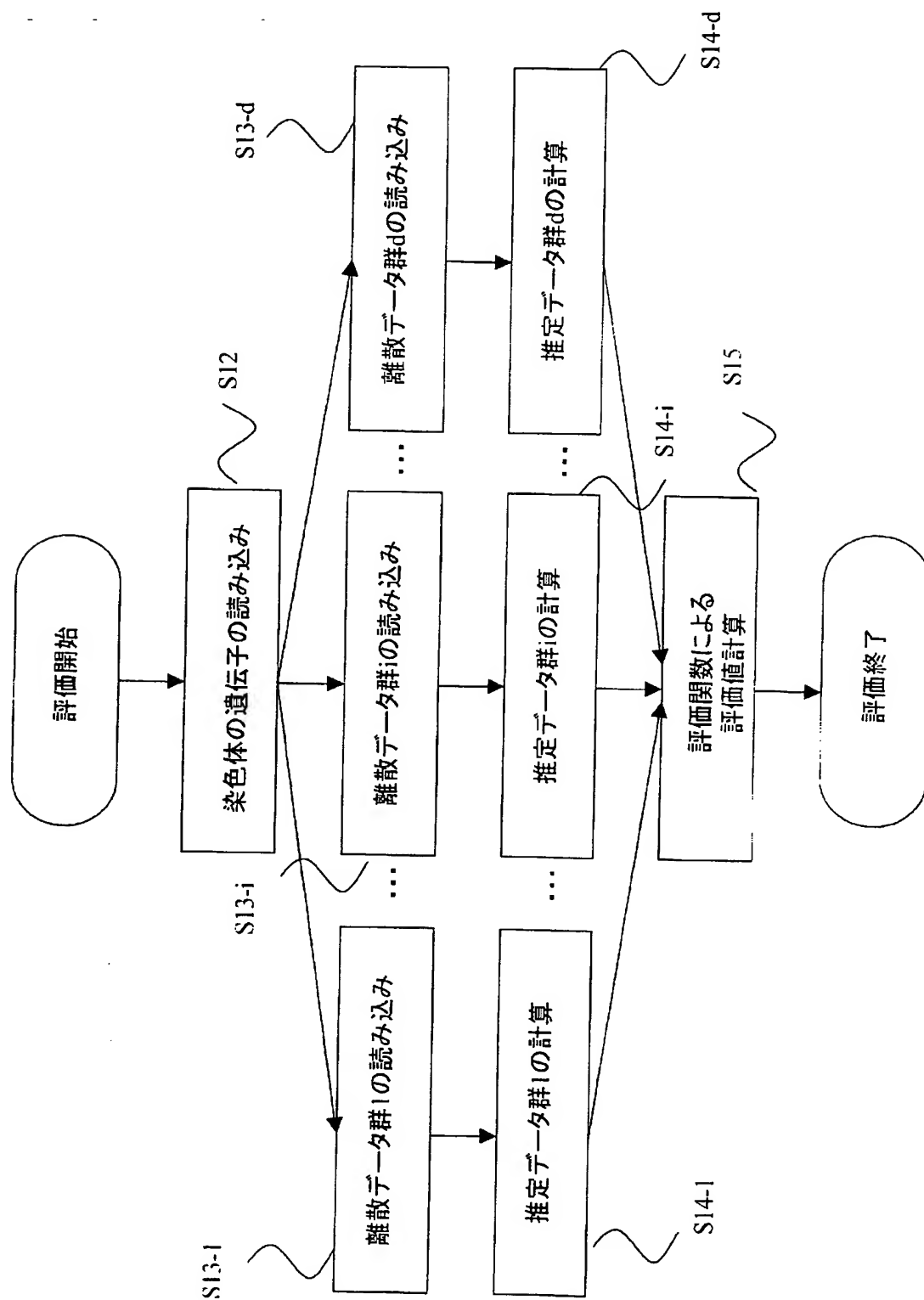
[図3]



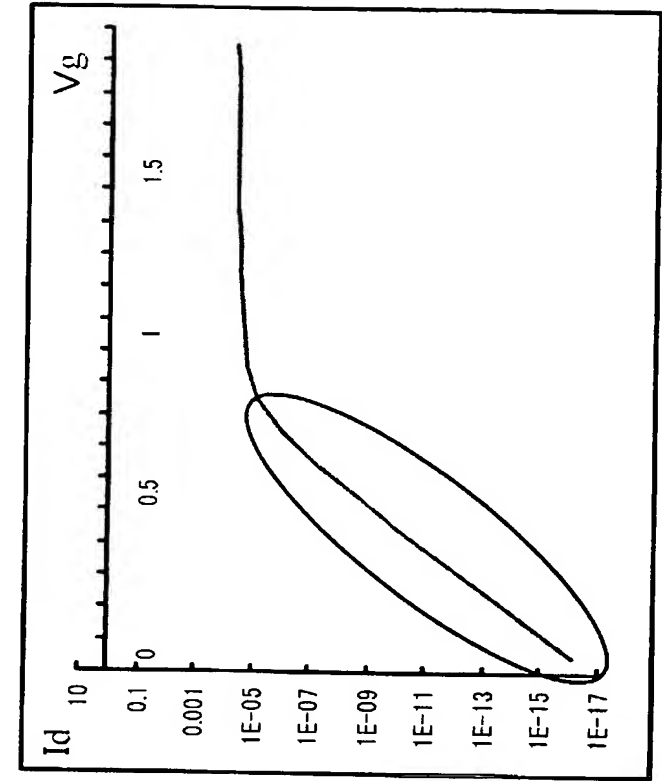
[図4]



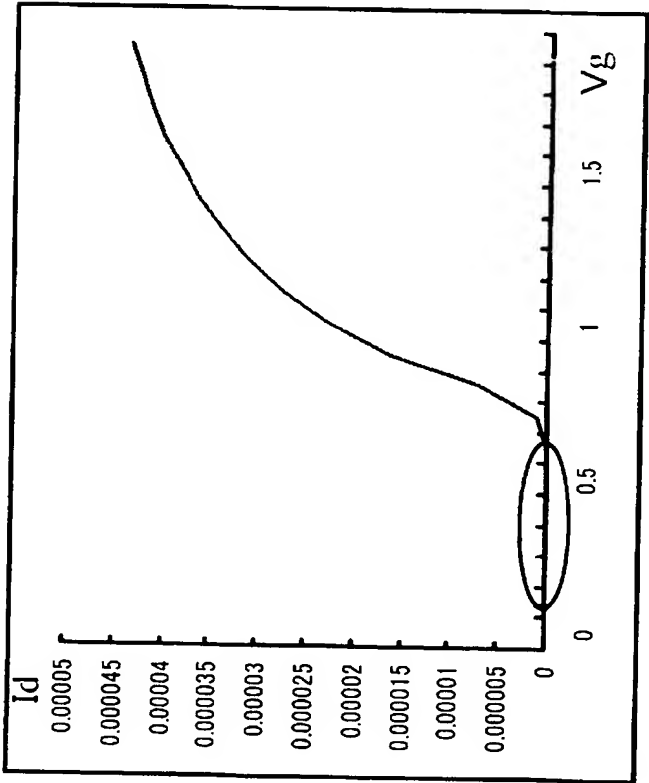
[図5]



[図6]

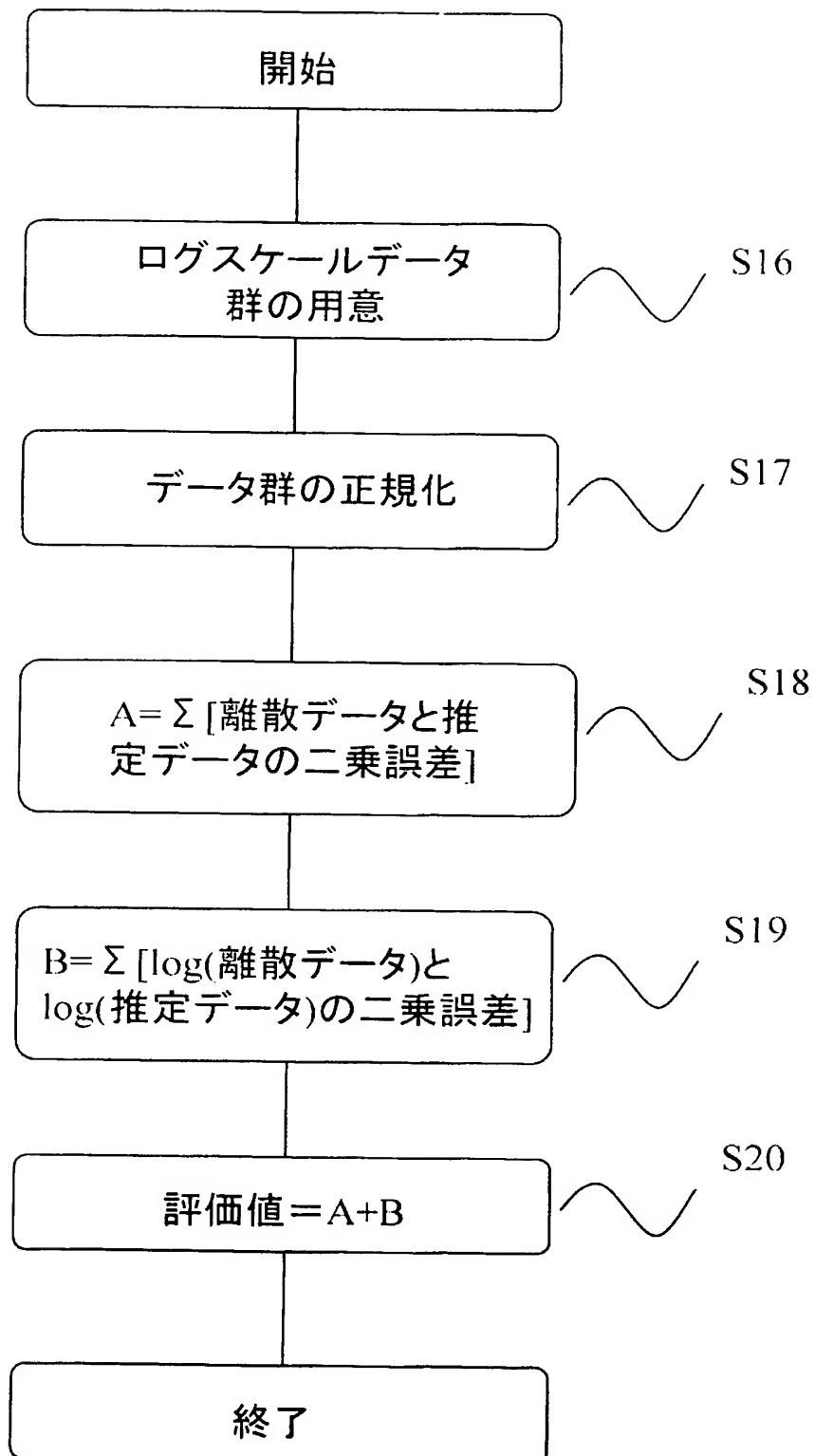


(a)

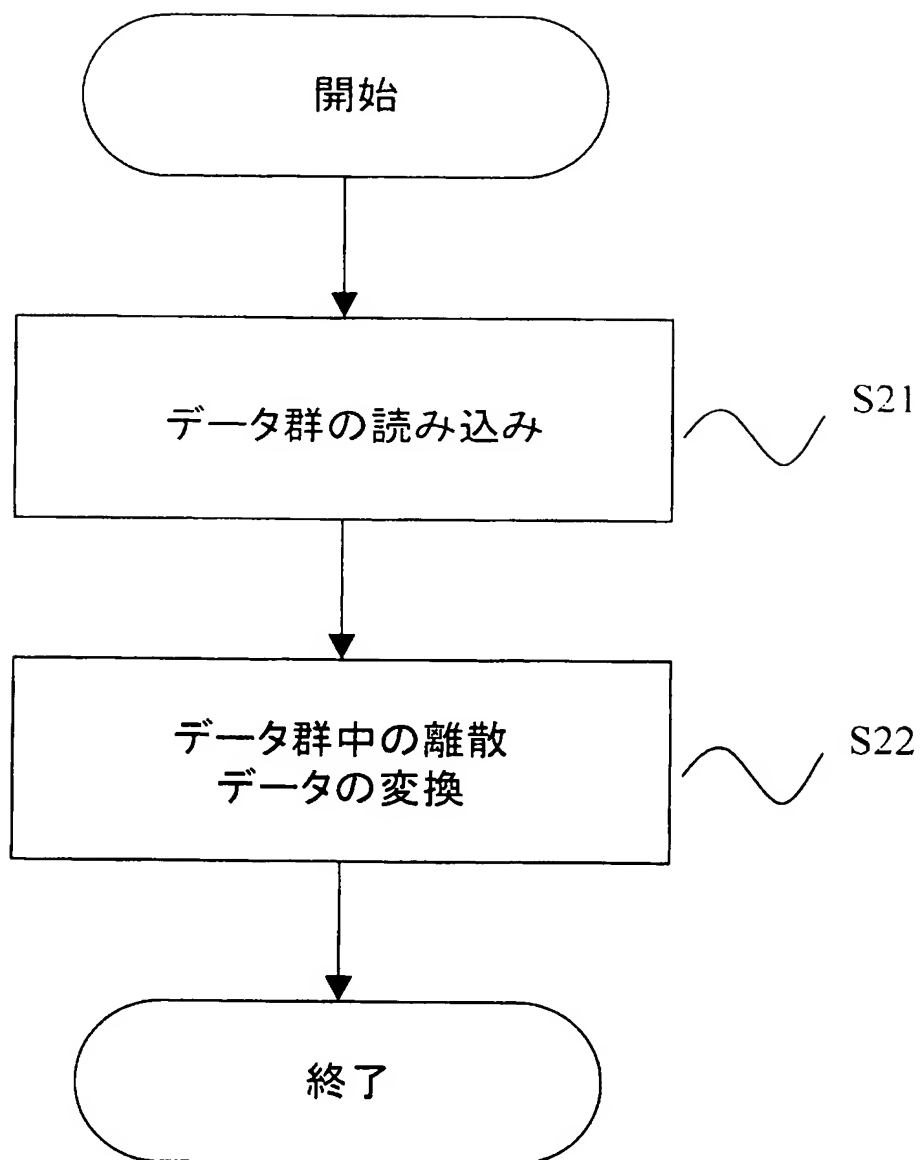


(b)

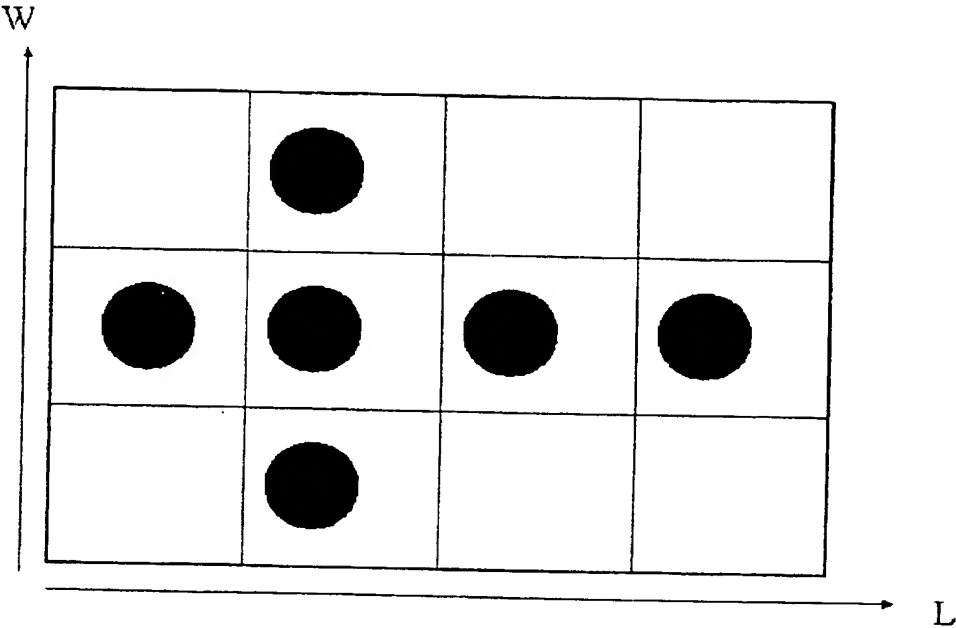
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No.
 PCT/JP2004/010093

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl⁷ G06N3/00, H01L29/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 Int.Cl⁷ G06N3/00, H01L29/00

 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
 Kōkai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-85526 A (Toshiba Corp.), 20 March, 2003 (20.03.03), Full text; Figs. 1 to 18 (Family: none)	1, 2 3
Y	JP 10-154003 A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 09 June, 1998 (09.06.98), Full text; Figs. 1 to 20 & US 6032139 A	1, 2, 4
Y	JP 10-334070 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 18 December, 1998 (18.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

 Date of the actual completion of the international search
 17 August, 2004 (17.08.04)

 Date of mailing of the international search report
 31 August, 2004 (31.08.04)

 Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G06N3/00, H01L29/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G06N3/00, H01L29/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2004年
日本国登録実用新案公報 1994-2004年
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2003-85526 A(株式会社東芝) 2003.03.20, 全文, 第1-18図 (ファミリー無し)	1, 2 3
Y	JP 10-154003 A(ヤマハ発動機株式会社) 1998.06.09, 全文, 第1-20図 & US 6032139 A	1, 2, 4
Y	JP 10-334070 A(日本電信電話株式会社) 1998.12.18, 全文, 全図 (ファミリー無し)	1, 2, 5

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 08. 2004

国際調査報告の発送日

31. 8. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

後藤 和茂

5B

3350

電話番号 03-3581-1101 内線 6917